

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Teleskope</b>                                                    | <b>1</b>  |
| 1.1      | Was sollte ein Teleskop leisten?                                    | 1         |
| 1.1.1    | Vergrößerung                                                        | 1         |
| 1.1.2    | Auflösungsvermögen                                                  | 3         |
| 1.1.3    | Mehr Details                                                        | 4         |
| 1.1.4    | Vergrößern ja – aber sinnvoll                                       | 7         |
| 1.1.5    | Der Abbildungsmaßstab                                               | 8         |
| 1.2      | Teleskope und Abbildungsfehler                                      | 9         |
| 1.2.1    | Linsen- und Spiegelteleskope                                        | 9         |
| 1.2.2    | Chromatische Aberration                                             | 10        |
| 1.2.3    | Weitere Abbildungsfehler                                            | 11        |
| 1.3      | Auf den Unterbau kommt es an: Teleskopmontierungen                  | 12        |
| 1.3.1    | Azimutale Montierung                                                | 12        |
| 1.3.2    | Parallaktische Montierung                                           | 13        |
| 1.3.3    | Autoguiding                                                         | 14        |
| 1.3.4    | Fernglas                                                            | 15        |
| 1.4      | Bilder aufnehmen                                                    | 16        |
| 1.4.1    | Astrokameras                                                        | 17        |
| 1.4.2    | Bildverarbeitung                                                    | 18        |
| <br>     |                                                                     |           |
| <b>2</b> | <b>Der Ursprung des Universums oder warum es nachts dunkel wird</b> | <b>25</b> |
| 2.1      | Tag und Nacht                                                       | 25        |
| 2.1.1    | Wann ist eigentlich Mittag?                                         | 25        |
| 2.1.2    | Was ist eigentlich ein Tag genau?                                   | 27        |
| 2.1.3    | Der Lauf des Mondes                                                 | 29        |
| 2.1.4    | Die schiefe Erdachse                                                | 30        |
| 2.1.5    | Wieso dauert der Sommer länger als der Winter?                      | 32        |
| 2.1.6    | Die veränderliche Sonnenmasse                                       | 34        |
| 2.2      | Gravitation – alles dreht sich                                      | 35        |
| 2.2.1    | Die Gravitation gilt überall                                        | 35        |
| 2.2.2    | Zwei Arten von Kräften                                              | 36        |
| 2.3      | Der Anblick des Sternenhimmels                                      | 39        |
| 2.3.1    | Erste Beobachtung: Es ist nachts dunkel                             | 39        |
| 2.3.2    | Beobachtung Nummer 2: Alles dreht sich um den Polarstern            | 41        |
| 2.3.3    | Beobachtung Nummer 3: Staub zwischen den Sternen                    | 41        |
| 2.3.4    | Beobachtung Nummer 4: Planeten am Himmel                            | 42        |

|       |                                                                              |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.5 | Wann sieht man die Planeten am besten? . . . . .                             | 45 |
| 2.3.6 | Beobachtung für Spezialisten: Das Problem<br>der Planetenschleifen . . . . . | 47 |

**3 Der Mond – Begleiter der Erde . . . . . 51**

|       |                                                      |    |
|-------|------------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Die Bahn des Mondes . . . . .                        | 51 |
| 3.1.1 | Mondumlauf und Erdachse . . . . .                    | 51 |
| 3.1.2 | Sonnen- und Mondfinsternisse . . . . .               | 52 |
| 3.1.3 | Finsternisse und die Relativitätstheorie . . . . .   | 53 |
| 3.1.4 | Alles ist relativ . . . . .                          | 57 |
| 3.1.5 | Allgemeine Relativitätstheorie . . . . .             | 58 |
| 3.2   | Den Mond beobachten . . . . .                        | 60 |
| 3.2.1 | Rotiert der Mond? . . . . .                          | 60 |
| 3.2.2 | Den Mond mit bloßem Auge beobachten . . . . .        | 61 |
| 3.2.3 | Den Mond mit einem Fernglas beobachten . . . . .     | 61 |
| 3.2.4 | Der Mond im Teleskop . . . . .                       | 61 |
| 3.3   | Eine Reise durch die Geschichte des Mondes . . . . . | 63 |
| 3.3.1 | Die Gegend um das Mare Nectaris . . . . .            | 63 |
| 3.3.2 | Das Mare Imbrium . . . . .                           | 64 |
| 3.3.3 | Oceanus Procellarum . . . . .                        | 65 |
| 3.4   | Der Mond physikalisch . . . . .                      | 66 |
| 3.4.1 | Ein Doppelplanet am Venushimmel . . . . .            | 66 |
| 3.4.2 | Vergleich Erde und Mond . . . . .                    | 67 |
| 3.4.3 | Wir berechnen die Masse des Mondes . . . . .         | 67 |
| 3.4.4 | Hat der Mond eine Atmosphäre? . . . . .              | 69 |
| 3.4.5 | Beben auf dem Mond . . . . .                         | 70 |
| 3.4.6 | Der Einfluss des Mondes auf die Erde . . . . .       | 71 |
| 3.4.7 | Die Erde dreht sich langsamer . . . . .              | 73 |
| 3.5   | Die Entstehung des Mondes . . . . .                  | 74 |
| 3.5.1 | Wir bestimmen das Alter der Mondoberfläche . . . . . | 74 |
| 3.5.2 | Woher stammt der Mond? . . . . .                     | 74 |
| 3.6   | Den Mond fotografieren . . . . .                     | 75 |
| 3.6.1 | Fotografie des Vollmondes . . . . .                  | 76 |
| 3.6.2 | Fotografie der Mondkrater und Mondgebirge . . . . .  | 77 |
| 3.6.3 | Der Mond bewegt sich . . . . .                       | 79 |

**4 Die Planeten . . . . . 83**

|       |                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Einteilung der Planeten . . . . .                           | 83 |
| 4.1.1 | Erdähnliche Planeten . . . . .                              | 83 |
| 4.1.2 | Die Riesenplaneten . . . . .                                | 84 |
| 4.1.3 | Wir machen ein Modell des Sonnensystems . . . . .           | 84 |
| 4.1.4 | Die astronomische Einheit . . . . .                         | 85 |
| 4.2   | Wir beobachten die Planeten . . . . .                       | 87 |
| 4.2.1 | Merkur . . . . .                                            | 87 |
| 4.2.2 | Venus . . . . .                                             | 88 |
| 4.2.3 | Zusammenfassung: Beobachtung der inneren Planeten . . . . . | 89 |

|        |                                                       |     |
|--------|-------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.4  | Mars                                                  | 89  |
| 4.2.5  | Fotografieren der erdähnlichen Planeten               | 91  |
| 4.2.6  | Jupiter                                               | 92  |
| 4.2.7  | Saturn                                                | 94  |
| 4.2.8  | Uranus und Neptun                                     | 94  |
| 4.3    | Das Innere der Planeten                               | 95  |
| 4.3.1  | Aufbau der Erde                                       | 95  |
| 4.3.2  | Seismologie                                           | 96  |
| 4.3.3  | Der Aufbau anderer erdähnlicher Planeten              | 97  |
| 4.3.4  | Weshalb sind Planeten eigentlich rund?                | 98  |
| 4.3.5  | Wieso ist es im Inneren der Planeten heiß?            | 98  |
| 4.3.6  | Planeten und Magnetfelder                             | 99  |
| 4.4    | Die Oberflächen der terrestrischen Planeten           | 99  |
| 4.4.1  | Was wir aus der Form von Kratern lernen können        | 100 |
| 4.4.2  | Vulkanismus                                           | 100 |
| 4.5    | Geologische Geschichte der Planeten                   | 103 |
| 4.5.1  | Mars                                                  | 105 |
| 4.5.2  | Venus                                                 | 108 |
| 4.6    | Die Atmosphären der erdähnlichen Planeten             | 111 |
| 4.6.1  | Grundlegendes über Atmosphären                        | 111 |
| 4.6.2  | Wechselwirkung zwischen Strahlung und Atmosphäre      | 113 |
| 4.6.3  | Sonnenwind und Magnetosphäre                          | 115 |
| 4.6.4  | Wetter und Klima                                      | 115 |
| 4.6.5  | Woher kommt das Gas in der Atmosphäre eines Planeten? | 118 |
| 4.6.6  | Die Atmosphären von Mond und Merkur                   | 119 |
| 4.6.7  | Die Atmosphäre des Mars                               | 120 |
| 4.6.8  | Warum ist Venus so heiß?                              | 122 |
| 4.6.9  | Die Atmosphäre der Erde                               | 123 |
| 4.6.10 | Überlegen Sie doch mal ...                            | 125 |
| 4.7    | Die Gasplaneten                                       | 125 |
| 4.7.1  | Die jovianischen Planeten                             | 125 |
| 4.7.2  | Uranus und Neptun                                     | 128 |
| 4.8    | Planetenmonde und Planetenringe                       | 131 |
| 4.8.1  | Die Ringe der großen Planeten                         | 131 |
| 4.8.2  | Die Roche-Grenze, oder wann Monde auseinanderbrechen  | 132 |
| 4.8.3  | Die Monde des Mars                                    | 133 |
| 4.8.4  | Die Monde des Jupiter                                 | 135 |
| 4.8.5  | Saturnmonde                                           | 139 |
| 4.8.6  | Die Monde des Uranus                                  | 141 |
| 4.8.7  | Die Monde des Neptun                                  | 142 |

## 5

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Zwergplaneten und andere Kleinkörper</b>                        | <b>145</b> |
| 5.1 Zwergplaneten                                                  | 145        |
| 5.1.1 Pluto – vom Planeten zum Zwergplaneten                       | 145        |
| 5.1.2 Ceres – vom Asteroiden zum Zwergplaneten                     | 146        |
| 5.1.3 Was ist der Unterschied zwischen Planeten und Zwergplaneten? | 147        |

|       |                                       |     |
|-------|---------------------------------------|-----|
| 5.2   | Asteroiden                            | 148 |
| 5.2.1 | Allgemeine Eigenschaften              | 148 |
| 5.2.2 | Asteroiden beobachten                 | 149 |
| 5.2.3 | Asteroiden – Gefahr für die Erde?     | 149 |
| 5.2.4 | Gefahr eines Asteroideneinschlages    | 151 |
| 5.2.5 | Trojaner                              | 152 |
| 5.3   | Kometen                               | 153 |
| 5.3.1 | Kurz- und langperiodische Kometen     | 153 |
| 5.3.2 | Aufbau der Kometen                    | 153 |
| 5.3.3 | Herkunft der Kometen                  | 154 |
| 5.3.4 | Wir beobachten Kometen                | 156 |
| 5.4   | Kleinkörper und Staub im Sonnensystem | 157 |
| 5.4.1 | Meteoroiden                           | 157 |
| 5.4.2 | Sternschnuppenströme beobachten       | 158 |

## 6 Die Sonne – unser Stern 161

|       |                                             |     |
|-------|---------------------------------------------|-----|
| 6.1   | Wir beobachten die Sonne                    | 161 |
| 6.1.1 | Achtung: Niemals direkt!!                   | 161 |
| 6.1.2 | Flecken, die nicht sein durften             | 162 |
| 6.1.3 | Die brodelnde Oberfläche der Sonne          | 166 |
| 6.1.4 | Wird es im Inneren der Sonne heißer?        | 166 |
| 6.1.5 | Wir zeigen, dass die Erdbahn elliptisch ist | 166 |
| 6.1.6 | Moderne Sonnentelkope                       | 167 |
| 6.2   | Der Aufbau der Sonne                        | 171 |
| 6.2.1 | Die Kernfusion im Inneren der Sonne         | 171 |
| 6.2.2 | Die Photosphäre                             | 173 |
| 6.2.3 | Chromosphäre und Korona                     | 174 |
| 6.2.4 | Die Korona                                  | 177 |
| 6.3   | Sonnenaktivität und Weltraumwetter          | 180 |
| 6.3.1 | Wie man berühmt wird                        | 180 |
| 6.3.2 | Wir messen die Sonnenaktivität              | 181 |
| 6.3.3 | Der Sonnendynamo                            | 182 |
| 6.3.4 | Sonnenaktivität und Erdklima                | 184 |
| 6.3.5 | Weltraumwetter – Gefahr für Astronauten?    | 184 |
| 6.3.6 | Die Heliosphäre                             | 186 |
| 6.3.7 | Eine Reise an den Rand des Sonnensystems    | 187 |

## 7 Die Sterne – Aufbau und Entwicklung 189

|       |                                               |     |
|-------|-----------------------------------------------|-----|
| 7.1   | Der Sternenhimmel                             | 189 |
| 7.1.1 | Sternbilder und Beobachtungen mit bloßem Auge | 189 |
| 7.1.2 | Sternhaufen                                   | 191 |
| 7.1.3 | Gebiete der Sternentstehung                   | 192 |
| 7.2   | Zustandsgrößen der Sterne                     | 193 |
| 7.2.1 | Entfernung der Sterne                         | 193 |
| 7.2.2 | Massen der Sterne                             | 194 |

|       |                                            |     |
|-------|--------------------------------------------|-----|
| 7.2.3 | Wie groß sind Sterne                       | 195 |
| 7.2.4 | Wie heiß sind Sterne?                      | 196 |
| 7.2.5 | Sternhelligkeiten                          | 196 |
| 7.3   | Das wichtigste Diagramm der Astrophysik    | 197 |
| 7.3.1 | Was ist ein Spektrum?                      | 197 |
| 7.3.2 | Das Hertzsprung-Russell-Diagramm           | 199 |
| 7.3.3 | Riesen und Zwerge: Leuchtkraftklassen      | 201 |
| 7.4   | Wie entstehen Sterne?                      | 201 |
| 7.4.1 | Gasnebel und junge Sternhaufen             | 202 |
| 7.4.2 | Eine Wolke kollabiert                      | 202 |
| 7.4.3 | Sterne auf der Hauptreihe                  | 205 |
| 7.5   | Sterne am Ende ihrer Entwicklung           | 208 |
| 7.5.1 | Weißer Zwerge, das Schicksal unserer Sonne | 208 |
| 7.5.2 | Neutronensterne                            | 211 |
| 7.5.3 | Schwarze Löcher                            | 214 |



|                 |                                                  |     |
|-----------------|--------------------------------------------------|-----|
| <b>Galaxien</b> | 217                                              |     |
| <b>8.1</b>      | <b>Unsere kosmische Heimat – die Milchstraße</b> | 217 |
| 8.1.1           | Wir beobachten die Milchstraße                   | 217 |
| 8.1.2           | Die Masse der Milchstraße – dunkle Materie?      | 219 |
| 8.1.3           | Eine Spiralgalaxie ...                           | 221 |
| 8.1.4           | Das supermassive schwarze Loch im Zentrum        | 223 |
| <b>8.2</b>      | <b>Galaxien</b>                                  | 224 |
| 8.2.1           | Wir beobachten Galaxien                          | 224 |
| 8.2.2           | Entfernungsbestimmungen                          | 226 |
| 8.2.3           | Typen von Galaxien                               | 229 |
| 8.2.4           | Besondere Galaxien                               | 230 |
| <b>8.3</b>      | <b>Galaxienhaufen</b>                            | 231 |
| 8.3.1           | Wir beobachten Galaxienhaufen                    | 231 |
| 8.3.2           | Die lokale Gruppe                                | 232 |
| 8.3.3           | Der Virgohaufen                                  | 233 |
| 8.3.4           | Superhaufen                                      | 234 |



|                                 |                                      |            |
|---------------------------------|--------------------------------------|------------|
| <b>Wie alles entstanden ist</b> |                                      | <b>237</b> |
| <b>9.1</b>                      | <b>Das Universum und der Urknall</b> | <b>237</b> |
| 9.1.1                           | Warum die Nacht dunkel ist           | 237        |
| 9.1.2                           | Welteninseln                         | 238        |
| 9.1.3                           | Das Universums dehnt sich aus        | 239        |
| 9.1.4                           | Das Alter des Universums             | 241        |
| 9.1.5                           | Das kühle Universum war früher heiß  | 242        |
| 9.1.6                           | Das Universum wird undurchsichtig    | 242        |
| 9.1.7                           | Woher kommen die chemischen Elemente | 244        |
| <b>9.2</b>                      | <b>Urknall und Teilchenphysik</b>    | <b>246</b> |
| 9.2.1                           | Teilchen und Energie                 | 246        |
| 9.2.2                           | Vereinigung der Kräfte               | 246        |

## **XII**      Den Nachthimmel erleben

|       |                                          |     |
|-------|------------------------------------------|-----|
| 9.2.3 | Dunkle Materie und dunkle Energie .....  | 248 |
| 9.2.4 | Raum-Zeit .....                          | 249 |
| 9.3   | Leben im Universum .....                 | 251 |
| 9.3.1 | Entstehung des Lebens auf der Erde ..... | 251 |
| 9.3.2 | Die Entdeckung von Exoplaneten .....     | 253 |
| 9.3.3 | Habitable Zonen .....                    | 256 |
| 9.3.4 | Kontaktaufnahme? .....                   | 257 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Weiterführende Literatur ..... | 259 |
|--------------------------------|-----|

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Sachverzeichnis ..... | 261 |
|-----------------------|-----|